

(57) Zusammenfassung Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen in einer zu akustischen Schwingungen fähigen Brennkammer (1) einer Gasturbinenanlage, welche Brennkammer (1) einen Brenner (2) zur Verbrennung eines einen Brennstoff tragenden Fluides aufweist, welches Fluid dem Brenner (2) durch eine zu akustischen Schwingungen fähige und akustisch an die Brennkammer (1) gekoppelte Zuführleitung (3) zuführbar ist. Gemäß einer ersten Ausführung der Erfindung weist die Einrichtung ein an die Zuführleitung (3) angekoppeltes, akustisch wirksames Element (4, 5; 6; 7; 19) auf, durch das die Zuführleitung (3) derart akustisch abgestimmt ist, daß eine instationäre Verbrennung aufgrund der akustischen Schwingungen in der Zuführleitung (3) im wesentlichen ausgeschlossen ist. Gemäß einer zweiten Ausführung der Erfindung wird durch das akustisch wirksame Element (4, 5; 6; 7; 19) eine Rückwirkung von akustischen Schwingungen in der Zuführleitung (3) auf akustische Schwingungen in der Brennkammer (1), welche Rückwirkung bedingt ist durch eine instationäre Verbrennung aufgrund der akustischen Schwingungen in der Zuführleitung (3), so eingestellt, daß sie der Entstehung von Verbrennungsschwingungen entgegenwirkt. Der Einsatz der Erfindung ist möglich und vorteilhaft in stationären Gasturbinenanlagen mit elektrischen Nennleistungen bis 100 MW und darüber.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	FR	Frankreich	MR	Mauritanien
AU	Australien	GA	Gabon	MW	Malawi
BB	Barbados	GB	Vereinigtes Königreich	NL	Niederlande
BE	Belgien	GN	Guinea	NO	Norwegen
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NZ	Neuseeland
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	PL	Polen
BJ	Benin	IE	Irland	PT	Portugal
BR	Brasilien	IT	Italien	RO	Rumänien
CA	Kanada	JP	Japan	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SD	Sudan
CG	Kongo	KR	Republik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KZ	Kasachstan	SK	Slowakische Republik
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CM	Kamerun	LK	Sri Lanka	SU	Sowjet Union
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TD	Tschad
CZ	Tschechische Republik	MC	Monaco	TG	Togo
DE	Deutschland	MG	Madagaskar	UA	Ukraine
DK	Dänemark	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
ES	Spanien	MN	Mongolei	VN	Vietnam
FI	Finnland				

- 1 Einrichtung zur Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen
in einer Brennkammer einer Gasturbinenanlage

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Unterdrückung
5 von Verbrennungsschwingungen in einer zu akustischen
Schwingungen fähigen Brennkammer einer Gasturbinenanlage,
welche Brennkammer einen Brenner zur Verbrennung eines
einen Brennstoff tragenden Fluides aufweist, welches Fluid
10 und akustisch an die Brennkammer gekoppelte Zuführleitung
zuführbar ist.

Brennkammern von Gasturbinenanlagen, vor allem Brenn-
kammern, die mit Vormischbrennern bestückt sind, neigen je
15 nach Betriebszustand zu selbsterregten Verbrennungsschwin-
gungen. Solche Verbrennungsschwingungen haben Frequenzen,
die Resonanzfrequenzen der Brennkammer oder eines anderen
schwingungsfähigen Gebildes unter Einbeziehung der Brenn-
kammer entsprechen; je nach Größe des schwingungsfähigen
20 Gebildes liegen diese Frequenzen zwischen einigen Hz und
mehreren kHz, in Gasturbinenanlagen typisch unter 1 kHz.
Mit solchen Verbrennungsschwingungen sind oftmals Druck-
schwankungen in erheblicher Höhe, insbesondere mit Ampli-
tuden des Druckes bis zur Höhe der stationären Druckver-
25 luste der Brennkammer, verbunden. Solche Druckschwankungen
können u. U. mechanische Schäden an den Brennkammern und
anderen Komponenten der Gasturbinenanlagen verursachen.

Eine Brennkammer für eine Gasturbinenanlage mit darin
30 angeordnetem Brenner geht aus der EP 0 193 838 B1 hervor.
Der dort beschriebene Brenner ist ein sogenannter "Hybrid-
brenner", eine Kombination aus Diffusionsbrenner und Vor-
mischbrenner. Wird der Vormischbrenner betrieben, so ist
u. U. eine Unterstützung der Verbrennung durch eine zu-
35 sätzliche "Pilotflamme" aus dem Diffusionsbrenner erfor-
derlich.

1 Hinweise zur Ausgestaltung einer Brennkammer für eine Gas-
turbinenanlage sind der DE 25 23 449 C3 entnehmbar. Die
dort beschriebene Brennkammer besteht aus einem Flammrohr,
das in einem Gehäuse angeordnet ist, wobei die Luft zur
5 Verbrennung durch einen Ringspalt zwischen dem Flammrohr
und dem Gehäuse den an einem Ende des Flammrohres ange-
ordneten Brennern zugeführt wird. Durch die Brenner strömt
die Verbrennungsluft in das Flammrohr ein, wobei sie mit
Brennstoff versetzt wird; in dem Flammrohr findet die Ver-
10 brennung statt. Die Abgase der Verbrennung werden, ggf.
nach Zumischung von Luft, der Gasturbine zugeführt.

Gasturbinenanlagen, die mit gasförmigen Brennstoffen be-
trieben werden, finden im Zusammenhang mit Kohleverga-
15 sungseinrichtungen, in denen aus Kohle gasförmiger Brenn-
stoff erzeugt wird, gesteigerte Aufmerksamkeit. Gastur-
binenanlagen in Kombination mit Kohlevergasungsanlagen und
Dampfkraftanlagen zur Abhitzeverwertung wurden eingehend
abgehandelt in einem Vortrag von J. S. Joyce mit dem Titel
20 "The Development of Integrated Coal-Gasification Combined-
Cycle (ICG-GUD) Power Plants", vorgetragen am 26.04.90 an-
läßlich eines in Arnhem (Niederlande) gehaltenen Seminars
"Coal Gasification for Generation of Electricity"; eine
Niederschrift des Vortrages wurde während des Seminars
25 verteilt.

Weitere Einzelheiten zu Vormischbrennern und Hybrid-
brennern zum Einsatz in den Brennkammern von Gasturbinen-
anlagen sind der EP 0 108 361 B1, der EP 0 276 696 B1 und
30 der WO 89/08803 A1 entnehmbar. Die letztgenannte Schrift
betrifft die Ertüchtigung einer Brennkammer zur Zuführung
von Zusatzstoffen für die Bindung gewisser Schadstoffe im
verwendeten Brennstoff.

35 Die Ursachen selbsterregter Verbrennungsschwingungen sind
seit langem im Prinzip bekannt. Bei Verbrennungsschwin-

1 gungen handelt es sich um akustische Schwingungen, also
Schwingungen nach Art des Schalls, die durch instationär
ablaufende Verbrennungsvorgänge angefacht werden. Die
Frequenz einer Verbrennungsschwingung ist hauptsächlich
5 bestimmt durch die Geometrie der Brennkammer; die Frequenz
der Verbrennungsschwingung entspricht einer Resonanzfre-
quenz, die durch stehende akustische Wellen in dem schwin-
gungsfähigen Gebilde, zu dem die Brennkammer gehört,
definiert ist.

10

Vielfach entstehen Verbrennungsschwingungen dadurch, daß
akustische Schwingungen in einer zu akustischen Schwingun-
gen fähigen Brennkammer akustische Schwingungen in einer
gleichfalls zu akustischen Schwingungen fähigen Zuführ-
15 leitung für die Zustellung des Brennstoffes zu dem Brenner
hervorrufen; die akustischen Schwingungen in der Zuführ-
leitung bedingen ihrerseits durch die mit ihnen verbun-
denen Druckstöße einen instationären Brennstofffluß zu dem
Brenner und bewirken somit eine instationäre Verbrennung,
20 die ihrerseits Einfluß auf die akustischen Schwingungen in
der Brennkammer nimmt. Je nach der Phasenbeziehung zwi-
schen der instationären Verbrennung und den akustischen
Schwingungen in der Brennkammer kann sich am Brenner ein
thermodynamischer Prozeß ergeben, der aus der Verbrennung
25 mechanische Energie, die dann in die akustischen Schwin-
gungen in der Brennkammer einfließt, freisetzt. Auf diese
Weise entsteht eine Selbsterregung in dem schwingungs-
fähigen Gesamtsystem, welches die Brennkammer und die
Zuführleitung umfaßt, wobei der zur Selbsterregung not-
30 wendige geschlossene Rückkopplungskreis, der die Energie
für die Verbrennungsschwingungen liefert, gebildet ist
durch die akustische Übertragung von Schwingungen aus der
Brennkammer in die Zuführleitung in Verbindung mit der
thermodynamischen Übertragung von Schwingungen aus der
35 Zuführleitung in die Brennkammer.

1 Es sei bemerkt, daß die beschriebene "akustische Kopplung"
zwischen der Brennkammer und der Zuführleitung nicht unbe-
dingt eine unmittelbare Kopplung zwischen den Gassäulen in
5 der Brennkammer und der Zuführleitung sein muß; diese
Kopplung kann auch realisiert sein dadurch, daß die Wand
der Brennkammer mit der Wand der Zuführleitung in einer
Verbindung steht, die die Übertragung akustischer Schwin-
gungen gestattet. Im allgemeinen ist davon auszugehen, daß
10 die akustische Kopplung zwischen der Zuführleitung und der
Brennkammer sehr komplex und möglicherweise über mehrere
verschiedene Übertragungswege realisiert ist. In jedem
Fall ist jedoch die akustische Kopplung eine Kopplung, die
auch in Abwesenheit der Verbrennung vorliegt und somit
15 beispielsweise durch Messungen an einer ohne Verbrennung
durchströmten Brennkammeranordnung bestimmbar ist. Auch
ist die thermodynamische Kopplung zwischen der Zuführ-
leitung und der Brennkammer meßbar, indem beispielsweise
die Brennkammer gefüllt wird mit akustischem Dämmaterial,
20 worauf in der Brennkammer akustische Schwingungen gemessen
werden, die über die Verbrennung durch in der Zuführ-
leitung erregte akustische Schwingungen hervorgerufen
werden. Bedingt durch die Komplexität üblicher Brenn-
kammern, die darüber hinaus in der Regel auch keine
25 akustisch abgeschlossenen Gebilde, sondern lediglich
Bestandteile größerer, neben der Brennkammer auch Heißgas-
kanäle und dergleichen umfassender schwingungsfähiger
Gebilde sind, ist eine sichere Vorhersage über das Auf-
treten und die Frequenzen akustischer Resonanzen, die zu
Verbrennungsschwingungen führen können, in der Praxis kaum
30 möglich.

Verbrennungsschwingungen in industriellen Verbrennungsein-
richtungen sind in dem Buch "Combustion-Driven
Oscillations in Industry" von A. A. Putnam, American
35 Elsevier Publishing Company, Inc., New York (1971), abge-
handelt. In den Kapiteln 1 und 2 finden sich Hinweise zur

- 1 Ursache und Entstehung von Verbrennungsschwingungen, in
den folgenden Kapiteln sind spezielle Verbrennungsein-
richtungen abgehandelt, und das Kapitel 9 betrifft die
Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen. Zu den
5 speziellen Problemen von Verbrennungseinrichtungen, in
denen eine Verbrennung unter hohem Druck erfolgt und die
insbesondere in Gasturbinenanlagen eingesetzt werden, gibt
es keine Hinweise.
- 10 In Gasturbinenanlagen werden unter "Verbrennungsschwin-
gungen" vor allem akustische Schwingungen verstanden,
deren Druckamplituden an die Größenordnung der im statio-
nären Betrieb über den Brennkammern auftretenden Druckver-
luste heranreichen, insbesondere Größen von etwa 10 % der
15 jeweiligen Druckverluste überschreiten. Übliche Druckver-
luste liegen bei etwa 200 kPa bei Flugtriebwerks-Gastur-
binen und bei etwa 50 kPa bei Kraftwerks-Gasturbinen.
Tolerable akustische Schwingungen dürften demnach Werte um
etwa 10 kPa nicht wesentlich überschreiten. Es sei be-
20 merkt, daß die Abwesenheit von Verbrennungsschwingungen
kaum jemals eine absolut geräuschlose Verbrennung bedeuten
kann - in Brennkammern von Gasturbinen tritt in aller
Regel stets ein durchaus lautes, charakteristisches
Rauschen auf, dessen Auswirkungen bei der Auslegung der
25 Brennkammern berücksichtigt werden und das daher die
untere Grenze für die betriebliche akustische Beanspruch-
ung der Brennkammer bestimmt.
- 30 Bislang wurde versucht, Verbrennungsschwingungen in Brenn-
kammern von Gasturbinenanlagen zu begegnen durch geome-
trische Veränderungen am Brenner oder anderen Komponen-
ten der Brennkammer, durch Umverteilung der in die Brenn-
kammer eingeführten Luft oder durch Einfügung von Drossel-
stellen an die Austritte der Zuführleitungen in den
35 Brennern; letzteres geschah, um einer Rückwirkung von
akustischen Schwingungen in der Brennkammer auf die Zu-

1 führleitungen zu begegnen. Die mit den bisher bekannten
Maßnahmen erzielten Erfolge waren stets eingeschränkt: Die
zuerst genannten Maßnahmen waren insbesondere deshalb
wenig tauglich, weil sie mangels hinreichender Vorhersag-
5 barkeit ihrer Auswirkungen nur wenig zielgerichtet aus-
führbar waren. Die letztgenannte Maßnahme hatte nur ge-
ringe praktische Bedeutung, weil eine hinreichend wirk-
same Drosselstelle in der Zuführleitung einen erheblichen
Druckverlust nach sich zieht und somit unpraktikabel hohe
10 Drücke im Brennstoffzuführungssystem erfordert.

In Ansehung der beschriebenen Problematik basiert die
Erfindung auf der Aufgabe, eine Einrichtung zur Unter-
drückung von Verbrennungsschwingungen in einer zu
15 akustischen Schwingungen fähigen Brennkammer einer
Gasturbinenanlage anzugeben, die zuverlässig wirksam ist,
keine erhebliche Beeinträchtigung der weiteren, zum
Betrieb der Gasturbinenanlage erforderlichen Einrichtungen
darstellt und darüber hinaus bei Bedarf möglichst einfach
20 in eine vorhandene Gasturbinenanlage integrierbar ist.

In einer ersten Ausführung ist die erfindungsgemäße Ein-
richtung zur Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen
in einer zu akustischen Schwingungen fähigen Brennkammer
25 einer Gasturbinenanlage, welche Brennkammer einen Brenner
zur Verbrennung eines einen Brennstoff tragenden Fluides
aufweist, welches Fluid dem Brenner durch eine zu
akustischen Schwingungen fähige und akustisch an die
Brennkammer gekoppelte Zuführleitung zuführbar ist, ge-
30 kennzeichnet durch ein an die Zuführleitung angekoppeltes
akustisch wirksames Element, durch das die Zuführleitung
derart akustisch abgestimmt ist, daß eine instationäre
Verbrennung aufgrund akustischer Schwingungen in der Zu-
führleitung im wesentlichen ausgeschlossen ist.

35

Im Rahmen dieser Ausführung geht die Erfindung davon aus,

1 daß akustische Schwingungen in der Zuführleitung haupt-
sächlich als stehende Wellen auffaßbar sind; dies bedeu-
tet, daß in der Zuführleitung entsprechend den Frequenzen
der akustischen Schwingungen Zonen mit Schwingungen hoher
5 Amplitude und Zonen mit Schwingungen geringer oder prak-
tisch verschwindender Amplitude einander abwechseln. Er-
findungsgemäß wird die Anordnung der stehenden Wellen in
der Zuführleitung in der Weise beeinflußt, daß an dem
Brenner, der ein Ende der Zuführleitung darstellt, eine
10 Zone mit geringer, vorzugsweise im wesentlichen verschwin-
dender, Amplitude zu liegen kommt. Da die Druckverhält-
nisse am Ort des Brenners unmittelbar die Verbrennung be-
stimmen, führt die Gewährleistung einer hinreichend ge-
ringen Druckschwankung in der Zuführleitung am Ort des
15 Brenners zu einer ausreichend gleichmäßigen, nicht in-
stationären Verbrennung. Dementsprechend ist der ge-
schlossene Rückkopplungskreis, in dem sich Selbsterregung
aufbauen könnte, aufgebrochen; das Entstehen von Ver-
brennungsschwingungen kann somit effizient verhindert
20 werden.

Im Rahmen einer zweiten Ausführung ist die erfindungsge-
mäßige Einrichtung zur Unterdrückung von Verbrennungsschwin-
gungen in einer zu akustischen Schwingungen fähigen Brenn-
25 kammer einer Gasturbinenanlage, welche Brennkammer einen
Brenner zur Verbrennung eines einen Brennstoff tragenden
Fluides aufweist, welches Fluid dem Brenner durch eine zu
akustischen Schwingungen fähige und akustisch an die
Brennkammer gekoppelte Zuführleitung zuführbar ist, ge-
30 kennzeichnet durch ein an die Zuführleitung angekoppeltes
akustisch wirksames Element, durch das die Zuführleitung
derart akustisch abgestimmt ist, daß eine Rückwirkung von
akustischen Schwingungen in der Zuführleitung auf
akustische Schwingungen in der Brennkammer, welche Rück-
35 wirkung bedingt ist durch eine instationäre Verbrennung
aufgrund der akustischen Schwingungen in der Zuführlei-

1 tung, der Entstehung von Verbrennungsschwingungen entgegenwirkt.

5 Im Rahmen der zweiten Ausführung geht die Erfindung davon aus, daß durch Abstimmung der akustischen Eigenschaften der Zuführleitung die Phasenlage der thermodynamisch bedingten Rückwirkung relativ zu der Phasenlage der akustischen Kopplung zwischen der Brennkammer und der Zuführleitung beeinflussbar ist; erfindungsgemäß wird die Zuführ-
10 leitung abgestimmt durch Einfügung eines entsprechenden akustisch wirksamen Elementes, so daß die Phasenlage der thermodynamischen Rückwirkung relativ zur akustischen Kopplung nicht einer zur Selbsterregung erforderlichen positiven Rückkopplung, sondern einer negativen Rückkopplung entspricht. Die negative Rückkopplung schließt die
15 Selbsterregung aus und resultiert darüber hinaus in einer "aktiven akustischen Bedämpfung" des schwingungsfähigen Systems, welches die Brennkammer und die Zuführleitung umfaßt. "Aktiv" deshalb, weil die über die Verbrennung
20 erfolgende thermodynamische Rückwirkung dem schwingungsfähigen System tatsächlich Energie entzieht; nach der ersten Ausführung der Erfindung kann ein Entzug von Energie aus dem schwingungsfähigen System nur durch die übrige, in dem System aufgrund von Reibung oder dergleichen
25 vorhandene Dämpfung erfolgen.

Die Einrichtung nach jedweder Ausführung ist verwendbar im Zusammenhang mit jedwedem Brenner; sie eignet sich besonders zum Einsatz im Zusammenhang mit einem Vormisch-
30 brenner, der beispielsweise Teil eines Hybridbrenners ist. Dabei ist die zuverlässige Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen in Gasturbinenanlagen in Kraftwerken mit elektrischen Nennleistungen bis 100 MW und darüber möglich.

35

Der Brennstoff kann ein Gas sein, beispielsweise Erdgas

1 oder ein aus einem Kohlevergasungsprozeß gewonnenes
Produkt, wobei gegebenenfalls das den Brennstoff tragende
Fluid das Gas selbst ist. Auch kann der Brennstoff ein in
in einem womöglich selbst brennbaren Gas dispergierter
5 fester oder flüssiger Stoff, beispielsweise Kohlenstaub
oder Öl, sein. Schließlich ist auch ein flüssiger Brenn-
stoff, z. B. Öl, denkbar; auch kommen Öl-Wasser-Emulsionen
und dergleichen in Frage.

10 Die geschilderten Maßnahmen zur Unterdrückung von Ver-
brennungsschwingungen gestatten auch die zielgerichtete
Ertüchtigung einer bereits bestehenden Gasturbinenanlage.

Es versteht sich, daß die Auslegung des akustisch wirksa-
15 men Elementes hinsichtlich seiner akustischen Parameter
den Eigenschaften der vorgegebenen Brennkammer und dem in
der Zuführleitung bestimmten Ort, an den es angekoppelt
oder angeschlossen werden soll, angepaßt werden muß. Hier-
für sind ggf. die in der Brennkammer auftretenden Ver-
20 brennungsschwingungen auszumessen; insbesondere sind ggf.
auch akustische Wellen in der Zuführleitung zu untersu-
chen. Die Auswertung solcher Meßdaten führt sodann zu kon-
kreten Vorgaben für das an die Zuführleitung anzukoppelnde
akustisch wirksame Element. Zur Unterdrückung von Ver-
25 brennungsschwingungen in der Brennkammer einer Gasturbinen-
anlage können - wie erwähnt - u. a. die akustischen Phäno-
mene in der Zuführleitung des Brenners ausgewertet werden.
Bedingt durch die üblicherweise einfache Gestalt einer
solchen Zuführleitung sind die auftretenden akustischen
30 Phänomene relativ einfach ausmeßbar und theoretisch erfaß-
bar selbst dann, wenn sie von Fall zu Fall variieren. In
jedem Fall ist es möglich, eine sichere Aussage abzulei-
ten, wie den Verbrennungsschwingungen entgegengewirkt
werden kann.

35

Als akustisch wirksames Element kommt ein Helmholtz-Reso-

- 1 nator in Frage; dieser besteht aus einem im wesentlichen
geschlossenem Hohlraum oder Topf, in den ein Rohrstück oder
Hals hineinführt. Die Wirkungsweise des Helmholtz-Resona-
tors ist an sich bekannt und bedarf daher an dieser Stelle
5 keiner eingehenden Abhandlung. Es sei allerdings bemerkt,
daß der Helmholtz-Resonator, der selbst ein schwingungs-
fähiges Gebilde ist und gewisse Resonanzfrequenzen auf-
weist, im vorliegenden Zusammenhang nicht unbedingt auf
einer solchen Resonanzfrequenz betrieben wird. Es wird
10 hingegen ausgenutzt, daß ein Helmholtz-Resonator bei Be-
aufschlagung mit jedweder akustischen Welle, also auch
einer Welle, deren Frequenz keiner seiner Resonanzfre-
quenzen entspricht, ein wohldefiniertes Verhalten zeigt.
- 15 Ein Helmholtz-Resonator kann in besonders platzsparender
Weise als die Zuführleitung coaxial umgebender Hohlraum
nach Art eines Auspufftopfes im Abgassystem eines Ver-
brennungsmotors ausgeführt werden.
- 20 Eine weitere Möglichkeit zur Realisierung des akustisch
wirksamen Elementes ist der Anschluß eines geschlossenen
Rohrstückes, also eines Resonanzrohres, an die Zuführ-
leitung. Solche Resonanzrohe sind als "Viertelwellenrohre"
einschlägig bekannt. Wie bereits zum Helmholtz-Resonator
25 angemerkt, wird allerdings auch das Resonanzrohr nicht
unbedingt auf einer seiner Resonanzfrequenzen betrieben.
- Mit besonderem Vorteil wird ein akustisch wirksames Ele-
ment eingesetzt, das verstellbar ist zu Veränderung seiner
30 akustischen Eigenschaften. Ein solches verstellbares
akustisch wirksames Element kann ein Helmholtz-Resonator
mit einem in seiner Länge verstellbaren Hals oder einem
Topf mit variablem Volumen sein; auch ist ein Resonanzrohr
möglich, das mit einem verstellbaren Schieber verschlossen
35 ist und somit eine Anpassung seiner akustischen Eigen-
schaften an die Anforderungen des jeweiligen Einzelfalls

1 erlaubt. Insbesondere im Hinblick auf Nachrüstungen bestehender Brennkammern ist der Einsatz verstellbarer akustisch wirksamer Elemente zu bevorzugen, da solche Elemente eine Anpassung an vorgegebene Anlagen gestatten.

5 Auch kann es angebracht sein, das akustisch wirksame Element zu verstellen in Abhängigkeit vom Betriebszustand der Gasturbinenanlage, da erfahrungsgemäß das Auftreten von Verbrennungsschwingungen relativ stark von der jeweiligen Belastung der Gasturbinenanlage abhängt.

10

Eine weitere Möglichkeit zur Realisierung des akustisch wirksamen Elementes ist das Einfügen eines Hohlraumes in die Zuführleitung, wobei der Hohlraum ein "offenes Ende" der Zuführleitung im Sinne der Akustik darstellt. Mit
15 Hilfe eines solchen Hohlraumes kann das Resonanzverhalten des unmittelbar an den Brenner angeschlossenen Teils der Zuführleitung gezielt beeinflußt werden, so daß Verbrennungsschwingungen wirksam vermieden werden. Die "akustische Wirksamkeit" des Hohlraumes ist in diesem
20 Zusammenhang nicht ein bestimmtes "Antwortverhalten" auf eine durch die Zuführleitung in den Hohlraum einlaufende akustische Welle, sondern einfach die Tatsache, daß eine akustische Welle in wohldefinierter Weise und praktisch vollständig an der Einmündung der Zuführleitung in den
25 Hohlraum reflektiert wird. Somit ist der Teil der Zuführleitung zwischen Brenner und Hohlraum von den übrigen Teilen der Zuführleitung akustisch entkoppelt; in seinen akustischen Eigenschaften ist er mithin leicht theoretisch erfaßbar und auf die jeweiligen Anforderungen abstimmbar.

30

Es sei darauf hingewiesen, daß in einer Gasturbinenanlage ein akustischer Abschluß nach Art eines "geschlossenen Endes" in einer Zuführleitung kaum realisierbar wäre mittels einer kritisch durchströmten Blende, die beispielsweise Teil einer Drosseleinrichtung sein könnte. Bekanntlich wirkt eine kritisch durchströmte als Reflektor für
35

1 akustische Wellen, da sie definitionsgemäß mit Schallge-
schwindigkeit durchströmt wird und somit eine Wellenaus-
breitung entgegen der durchfließenden Strömung nicht mög-
lich ist. Die Gewährleistung einer solchen "kritischen
5 Strömung" erfordert allerdings ein erhebliches Druckge-
fälle über der Blende, was im Zusammenhang mit druckbe-
lasteten Brennkammern nur mit Drücken in unpraktikabler
Höhe in den Zuführleitungen erreichbar wäre. Somit ist
festzuhalten, daß im Rahmen des bisherigen Standes der
10 Technik in einer Gasturbinenanlage die Bildung eines
akustischen Abschlusses in einer Brennstoff-Zuführleitung
nicht praktikabel war.

Ein akustisch wirksames Element im vorliegenden Sinne kann
15 auch ein an die Zuführleitung angekoppelter akustischer
Sender, z. B. ein Lautsprecher, ein vibrierender Kolben
oder eine vibrierende Membran sein. Ein solches Element
wird mit einem von der Brennkammer abgenommenen akusti-
schen Signal, das kennzeichnend ist für die dortigen
20 akustischen Verhältnisse, beaufschlagt. Ein solches
akustisches Signal kann beispielsweise mittels eines an
die Brennkammer, vorzugsweise unmittelbar an das Flamm-
rohr, akustisch angekoppelten Aufnehmers, z. B. eines
Mikrophones, erhalten werden. Von dem Mikrophon kann das
25 Signal über eine Signalleitung einem Verstärker und von
dort über eine weitere Signalleitung dem akustischen
Sender zugestellt werden. Mittels des Senders wird eine
"aktive" Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen neben
oder anstelle der bisher erläuterten "passiven" Unter-
30 drückung ermöglicht, wobei die Zuführleitung von außen,
gewissermaßen zwangsweise, mit einem den Verbrennungs-
schwingungen entgegenwirkenden akustischen Signal beauf-
schlagt wird. Auf diese Weise kann auch und insbesondere
dann, wenn Schwingungen von der Brennkammer nur sehr wenig
35 in die Zuführleitung eingekoppelt werden, eine Unter-
drückung der Verbrennungsschwingungen bewerkstelligt

- 1 werden; dies insbesondere deshalb, weil neben der Einkopplung aus der Brennkammer eine zusätzliche Möglichkeit zur Einkopplung von Schwingungen in die Zuführleitung genutzt wird. Wie bereits erwähnt, ist die Unterdrückung von
- 5 Verbrennungsschwingungen unter Umständen gebunden an die Gewährleistung bestimmter Phasenbeziehungen zwischen akustischen Schwingungen in der Brennkammer und akustischen Schwingungen in der Zuführleitung. Dementsprechend muß Sorge getragen werden, daß die Beaufschlagung der Zuführleitung mittels des Senders mit einer solchen Phasen-
- 10 beziehung erfolgt. Hierfür sind ggf. entsprechende Einstellglieder vorzusehen, beispielsweise als elektronische Phasenschieber in den zu dem Sender führenden Signalleitungen. Grundsätzlich ist zur Speisung des Senders auch
- 15 ein Verstärker einsetzbar, der selbst eine solche Möglichkeit zur Einstellung der Phase bietet. Ein von einem akustischen Aufnehmer beaufschlagter Sender wird im Zusammenhang mit flüssigem Brennstoff bevorzugt eingesetzt.
- 20 Wie die Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen in einer Brennkammer mit mehreren Brennern erfolgt, ist grundsätzlich Sache des Einzelfalls, da es hierfür u. a. darauf ankommt, inwieweit Schwingungen in den zu den Brennern führenden Zuführleitungen einander beeinflussen.
- 25 Insbesondere dann, wenn die Verbrennungsschwingungen mit relativ niedrig liegenden Resonanzfrequenzen der Brennkammer erfolgen, ist davon auszugehen, daß die akustische Kopplung der Zuführleitung eines ersten Brenners auf die Zuführleitung eines zweiten Brenners relativ klein ist.
- 30 Unter solchen Umständen sind die akustischen Wirkungen der Zuführleitungen weitgehend unabhängig voneinander, woraus folgt, daß in jeder Zuführleitung ein eigenes akustisch wirksames Element zur Unterdrückung der Verbrennungsschwingungen erforderlich ist. In anderen Fällen, wenn es
- 35 nennenswerte Rückwirkungen von Zuführleitung zu Zuführleitung gibt, kann es möglich und ausreichend sein, nur

- 1 einen Teil der Zuführleitungen mit akustisch wirksamen Elementen zu versehen.

5 Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung der Einrichtung ist dadurch gekennzeichnet, daß in der Zuführleitung zu-
mindest zwei akustisch wirksame Elemente vorgesehen sind. Dabei ist besonders günstig, wenn ein akustisch wirksames Element ein Hohlraum ist, der ein akustisch offenes Ende der Zuführleitung darstellt, und ein weiteres akustisch
10 wirksames Element eingefügt ist zwischen den Hohlraum und den Brenner. Im Rahmen dieser Ausgestaltung wird der Hohlraum dazu benutzt, ein an den Brenner anschließendes Stück der Zuführleitung akustisch abzuschließen und von der übrigen Zuführleitung zu entkoppeln; das weitere akustisch
15 wirksame Element kann genutzt werden, um das somit erhaltene Stück der Zuführleitung zur Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen abzustimmen. In jedem Fall bedeutet die Einfügung mehrerer akustisch wirksamer Elemente in eine Zuführleitung, daß mehrere Parameter zur Abstimmung
20 der Zuführleitung zur Verfügung stehen, was die Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen wesentlich vereinfachen kann.

25 Die Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen in einer Brennkammer einer Gasturbinenanlage kann zum einen mit Hilfe des an die Zuführleitung angekoppelten akustisch wirksamen Elementes derart realisiert werden, daß in der Zuführleitung akustische Schwingungen, die zu einer instationären Verbrennung führen können, weitestgehend unter-
30 drückt werden. Dies läuft unter Umständen darauf hinaus, in der Zuführleitung Resonanzfrequenzen zu vermeiden, die etwa den Resonanzfrequenzen der Brennkammer entsprechen.

35 Die Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen in der Brennkammer kann zum anderen auch unter expliziter Inkaufnahme von Schwingungen in der Zuführleitung durchgeführt

1 werden, indem durch das akustisch wirksame Element die
akustischen Eigenschaften der Zuführleitung dahingehend
eingestellt werden, daß eine in der Zuführleitung ange-
regte Schwingung der Verbrennungsschwingung in der Brenn-
5 kammer entgegenwirkt. Diese Maßnahme geht davon aus, daß
eine durch eine Schwingung in der Brennkammer angefachte
Schwingung in der Zuführleitung auch eine bestimmte Phasen-
beziehung zu der Verbrennungsschwingung haben muß. Somit
kann die gegenseitige Kopplung der erwähnten Schwingungen
10 so beeinflußt werden, daß die Schwingungen einander nicht
unterstützen, sondern einander entgegenwirken. Diese Ein-
stellung der Phasenbeziehung zwischen den Schwingungen
muß Rücksicht auf die Dynamik des Verbrennungsprozesses
nehmen. Dabei ist insbesondere zu beachten, daß die Ver-
15 brennung eines aus einem Brenner austretenden Brennstoffes
erst mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung eintritt
und darüber hinaus einen gewissen Zeitraum beansprucht.
Die Phasenbeziehung zwischen Verbrennungsschwingung und
Schwingung in der Zuführleitung muß unter Berücksichtigung
20 dieser Verzögerung bemessen werden.

Die weitere Erläuterung der Erfindung erfolgt anhand der
in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele. Zur
Verdeutlichung besonderer Merkmale ist die Zeichnung
25 schematisiert und nicht maßstäblich ausgeführt.
Im einzelnen zeigen:

Fig. 1 eine Brennkammer mit Zuführleitungen für Brenn-
stoff, ergänzt um eine Einrichtung zur Unterdrückung von
30 Verbrennungsschwingungen;

Fig. 2 und 3 Ausführungsbeispiele eines akustisch wirk-
samen Elementes in einer Zuführleitung;

35 Fig. 4 und Fig. 5 Ausführungsbeispiele eines verstellbaren
oder steuerbaren akustisch wirksamen Elementes in einer

1 Zuführleitung.

Fig. 1 zeigt eine Brennkammer 1, die, ggf. als eine von mehreren, in einer (nicht dargestellten) Gasturbinenanlage einsetzbar ist, mit zwei Brennern 2, die durch jeweils eine Zuführleitung 3 mit einem einen Brennstoff tragenden Gas beaufschlagbar sind. Es sei angenommen, daß die Brennkammer 1 und die Zuführleitungen 3 zu akustischen Schwingungen fähig sind, wie dies bei Komponenten von Gasturbinenanlagen in aller Regel der Fall ist. Hierfür wichtig ist insbesondere die Tatsache, daß Zuführleitungen 3 und Brennkammern 1 von Gasturbinenanlagen üblicherweise nicht mit akustisch dämmenden Stoffen hergestellt oder gefüllt sind, da solche Stoffe die in den Brennkammern 1 oder Zuführleitungen 3 hervorgerufenen Druckverluste erhöhen, was für den Wirkungsgrad der Gasturbinenanlage stets sehr nachteilig ist. Die Brennkammer 1 ist gebildet aus einem Flammrohr 8 mit einem Boden 9, in den die Brenner 2 eingelassen sind; das Flammrohr 8 ist - im wesentlichen konzentrisch - umgeben von einem Außenrohr 10. Zwischen dem Flammrohr 8 und dem Außenrohr 10 kann Verbrennungsluft von einem Kompressor der Gasturbinenanlage zu den Brennern 2 strömen. In den Brennern 2 wird die Verbrennungsluft mit Brennstoff versetzt; die Verbrennung findet im wesentlichen statt in dem Flammrohr 8, aus dem die Verbrennungsgase anschließend zu einer Gasturbine der Gasturbinenanlage abströmen.

Die Brenner 2 sind sogenannte Vormischbrenner. Das den Brennstoff tragende Gas wird durch Hauptdüsen 11 der Verbrennungsluft zugeführt, in einer Beschaukelung 12 intensiv mit dieser vermischt und erst beim Eintritt in das Flammrohr 8 entzündet.

35 Zur Stabilisierung jedes Brenners 2 ist dieser noch versehen mit einer Nebendüse 13, die einen gewissen Anteil

1 von Brennstoff unmittelbar in das Flammrohr 8 einführt, wo
dieser in einer Diffusionsflamme verbrennt und so eine
"Pilotflamme" zur Stabilisierung der Vormischverbrennung
liefert.

5

Die untere Zuführleitung 3 weist als akustisch wirksames
Element einen seitlich angeschlossenen Helmholtz-Resonator
4 auf. An der oberen Zuführleitung 3 ist ein koaxial um
diese herum angeordneter Helmholtz-Resonator 5 vorgesehen.

10

Wesentliche Elemente jedes Helmholtz-Resonators 4, 5 sind
ein Hals 14, d. h. ein enges Rohrstück, und ein Topf 15,
d. h. ein relativ großräumiger Hohlraum, der sich an den
Hals 14 anschließt. Die Wirkungsweise des Helmholtz-Re-
sonators 4, 5 ist bereits erläutert worden.

15

In jede Zuführleitung 3 eingefügt ist ein Stellventil 16;
beide Stellventile 16 sind über eine sich verzweigende
Steuerleitung 17 ansteuerbar und erlauben so, ggf. in
Verbindung mit weiteren Maßnahmen, eine Einstellung der in
20 der Brennkammer 1 erzeugten thermischen Leistung und eine
Leistungssteuerung der Gasturbinenanlage. U. U. können die
Stellventile 16 (oder ähnliche Komponenten) akustische
Abschlüsse der Zuführleitungen 3 darstellen; dies ist
dann der Fall, wenn an ihnen Druckverluste in merklicher
25 Höhe eintreten. Die Einfügung von Drosselstellen in Zu-
führleitungen 3 ist allerdings dann üblich und von Vor-
teil, wenn diese Zuführleitungen 3 von einer gemeinsamen
Fördereinrichtung mit Brennstoff beaufschlagt werden. In
aller Regel dienen Drosselstellen in den Zuführleitungen 3
30 dazu, die Verteilung des Brennstoffes auf diese Zuführlei-
tungen 3 zu vergleichmäßigen.

Die Fig. 2 und 3 betreffen andere Möglichkeiten hinsicht-
lich der Ausgestaltung des akustisch wirksamen Elementes.
35 Gemäß Fig. 2 ist an die Zuführleitung 3 ein Resonanzrohr 6
angekoppelt. Das eine Ende des Resonanzrohrs 6 mündet in

1 die Zuführleitung 3; das der Zuführleitung 3 abgewandte
andere Ende ist verschlossen. Eine in der Zuführleitung 3
erregte akustische Schwingung wird in das Resonanzrohr 6
eingekoppelt; das akustische Verhalten des Resonanzrohres
5 6 beeinflußt die akustischen Eigenschaften der Zuführlei-
tung 3. Das Resonanzrohr 6 kann insbesondere zur Ein-
stellung der Resonanzfrequenz für das Gebilde aus der Zu-
führleitung 3 und dem Resonanzrohr 6 verwendet werden.

10 Gemäß Fig. 3 ist in die Zuführleitung 3 ein großräumiger
Hohlraum 7 eingefügt. Dieser Hohlraum 7 stellt ein
akustisch offenes Ende der Zuführleitung 3 dar; er ent-
koppelt das Stück der Zuführleitung 3 zwischen sich und
dem (nicht dargestellten) Brenner 2 von dem von ihm zur
15 Fördereinrichtung führenden Stück der Zuführleitung 3.
Durch geeignete Positionierung des Hohlraums 7 sind die
akustischen Eigenschaften der Zuführleitung 3 zwischen
Brenner 2 und Hohlraum 7 so abgestimmt, daß die Ver-
brennungsschwingungen unterdrückt sind.

20 Fig. 4 zeigt, ähnlich Fig. 2, ein an die Zuführleitung 3
angekoppeltes Resonanzrohr 6 als akustisch wirksames Ele-
ment. Gemäß Fig. 4 ist das Resonanzrohr 6 endseitig ver-
schlossen mittels eines beweglichen Schiebers 18, der eine
25 Einstellung der akustischen Eigenschaften des Resonanz-
rohrs 6 (beispielsweise seiner Resonanzfrequenzen) er-
laubt. Durch eine Verstellung des Schiebers 18 kann das
Resonanzrohr 6 an verschiedene Betriebszustände der Brenn-
kammer 1, mit der die Zuführleitung 3 verbunden ist, ange-
30 paßt werden. Dies kommt insbesondere dem Bestreben ent-
gegen, eine Gasturbinenanlage über einen möglichst großen
Leistungsbereich sicher betreiben zu können.

Fig. 5 zeigt eine Möglichkeit zur Realisierung des
35 akustisch wirksamen Elements mittels eines akustischen
Senders, und zwar eines Lautsprechers 19, der in einem

- 1 Gehäuse 20 an die Zuführleitung 3 angekoppelt oder ange-
setzt ist und der mit einem von dem Flammrohr 8 abge-
nommenen akustischen Signal beaufschlagt wird. Dieses
Signal wird mittels eines Mikrophons 21 von dem Flammrohr
5 8 abgenommen und über eine Signalleitung 22 dem Ver-
stärker 23 zugeführt. Über eine weitere Signalleitung 24
gelangt es zum Lautsprecher 19. Zur Einstellung der Phase
der in der Zuführleitung 3 durch den Lautsprecher 19
hervorgerufenen akustischen Schwingung kann der Verstärker
10 23 beispielsweise ein Einstellglied 25, dargestellt als
Kondensator mit variabler Kapazität, zur Einstellung der
Phase seines Ausgangssignals enthalten. Evtl. kann durch
entsprechende Wahl der Position des Mikrophons 21 an dem
Flammrohr 8 die korrekte Phasenbeziehung erreicht werden.
15 Darüber hinaus besteht natürlich die Möglichkeit, anstelle
eines einzelnen Mikrophons 21 eine Mehrzahl solcher Mikro-
phone 21 vorzusehen, was möglicherweise im Hinblick auf
die Aufbereitung des dem Lautsprecher 19 zugeführten
Signals vorteilhaft sein kann. Selbstverständlich können
20 in einer Zuführleitung 3 zu einem Brenner 2 mehrere, z. B.
zwei, akustisch wirksame Elemente 7, 19 vorgesehen sein.
Die Kombination eines großräumigen Hohlraums 7, wie ge-
zeigt in Fig. 5, mit einem anderen akustisch wirksamen
Element 19 ist dabei besonders bevorzugt. Der Hohlraum 7
25 dient dazu, das Stück der Zuführleitung 3 zwischen dem
Hohlraum 7 und dem Brenner 2 von der übrigen Zuführleitung
3 akustisch zu entkoppeln. Zwischen dem Brenner 2 und dem
Hohlraum 7 ist der Lautsprecher 19 angeschlossen.
- 30 Die Wirkungsweise der in der Zeichnung dargestellten
akustisch wirksamen Elemente 4, 5, 6, 7, 19 kann ent-
sprechend jeder Ausführung der Erfindung ausgenutzt wer-
den, da beide Ausführungen im wesentlichen über dieselben
konstruktiven Maßnahmen realisierbar sind. Im Einzelfall
35 hängt die Wirkungsweise des akustisch wirksamen Elementes
4, 5, 6, 7, 19 von seiner Auslegung und Abstimmung ab,

1 wobei unter Umständen nicht nur auf die Lage einer einzigen Resonanzfrequenz abzustellen ist, sondern auf die Anordnung einer Mehrzahl oder Vielzahl von Resonanzfrequenzen und eventueller anderer akustischer Eigenschaften.

5 Abschließend sei bemerkt, daß neben den Resonanzeigenschaften eines akustisch wirksamen Elementes 4, 5, 6, 7, 19 auch seine Dämpfungseigenschaften von Bedeutung sein können, was insbesondere dann wichtig und vorteilhaft sein kann, wenn das akustisch wirksame Element nicht unmittelbar von dem die Zuführleitung 3 durchströmenden Brennstoff durchströmt wird. Dann kann auch seine, günstigerweise einstellbare, Dämpfung mit Vorteil ausgenutzt werden.

15 Die Erfindung ermöglicht die Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen in einer Brennkammer einer Gasturbinenanlage auf einfache und sichere Weise. Die erfindungsgemäße Einrichtung ist leicht den Erfordernissen des Einzelfalls anpaßbar und ermöglicht einen sicheren und zuverlässigen Betrieb der Gasturbinenanlage.

20

25

30

35

1 Patentansprüche

1. Einrichtung zur Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen in einer zu akustischen Schwingungen fähigen Brennkammer (1) einer Gasturbinenanlage, welche Brennkammer (1) einen Brenner (2) zur Verbrennung eines einen Brennstoff tragenden Fluides aufweist, welches Fluid dem Brenner (2) durch eine zu akustischen Schwingungen fähige und akustisch an die Brennkammer (1) angekoppelte Zuführleitung (3) zuführbar ist,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
ein an die Zuführleitung (3) angekoppeltes, akustisch wirksames Element (4, 5; 6; 7; 19), durch das die Zuführleitung (3) derart akustisch abgestimmt ist, daß eine instationäre Verbrennung aufgrund der akustischen Schwingungen in der Zuführleitung (3) im wesentlichen ausgeschlossen ist.

2. Einrichtung zur Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen in einer zu akustischen Schwingungen fähigen Brennkammer (1) einer Gasturbinenanlage, welche Brennkammer (1) einen Brenner (2) zur Verbrennung eines einen Brennstoff tragenden Fluides aufweist, welches Fluid dem Brenner (2) durch eine zu akustischen Schwingungen fähige und akustisch an die Brennkammer (1) angekoppelte Zuführleitung (3) zuführbar ist,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
ein an die Zuführleitung (3) angekoppeltes, akustisch wirksames Element (4, 5; 6; 7; 19), durch das die Zuführleitung (3) derart akustisch abgestimmt ist, daß eine Rückwirkung von akustischen Schwingungen in der Zuführleitung (3) auf akustische Schwingungen in der Brennkammer (1), welche Rückwirkung bedingt ist durch eine instationäre Verbrennung aufgrund der akustischen Schwingungen in der Zuführleitung (3), der Entstehung von Verbrennungsschwingungen entgegenwirkt.

- 1 3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der das
akustisch wirksame Element (4,5; 6; 7; 19) ein Helmholtz-
Resonator (4,5) ist.
- 5 4. Einrichtung nach Anspruch 3, bei der der Helmholtz-
Resonator (5) koaxial die Zuführleitung (3) umgibt.
- 10 5. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der das
akustisch wirksame Element (4,5; 6; 7; 19) ein ver-
schlossenes Resonanzrohr (6) ist.
- 15 6. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei der das akustisch wirksame Element (4, 5; 6; 7; 19)
zur Veränderung seiner akustischen Eigenschaften verstell-
bar ist.
- 20 7. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der das
akustisch wirksame Element (4,5; 6; 7; 19) ein in die
Zuführleitung (3) integrierter Hohlraum (7) ist, der ein
akustisch offenes Ende der Zuführleitung (3) darstellt.
- 25 8. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der das
akustisch wirksame Element (4, 5; 6; 7; 19) ein akusti-
scher Sender, insbesondere ein Lautsprecher (19) ist, der
mit einem von der Brennkammer (1) abgenommenen akustischen
Signal betreibbar ist.
- 30 9. Einrichtung nach Anspruch 8, bei der der akustische
Sender ein Lautsprecher (19) ist, der über Signalleitungen
(22, 24) und einen Verstärker (23) mit einem an die Brenn-
kammer (1), vorzugsweise an das Flammrohr (8), akustisch
angekoppelten akustischen Aufnehmer (21) verbunden ist.
- 35 10. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
welche zumindest zwei akustisch wirksame Elemente (4, 5;
6; 7; 19) aufweist.

- 1 11. Einrichtung nach Anspruch 10, welche einen Hohlraum
(7) aufweist, der ein akustisch offenes Ende der Zuführ-
leitung (3) darstellt, wobei zwischen den Hohlraum (7) und
den Brenner (2) ein weiteres akustisch wirksames Element
5 (4, 5; 6; 19) in die Zuführleitung (3) eingefügt ist.

10

15

20

25

30

35

1/3

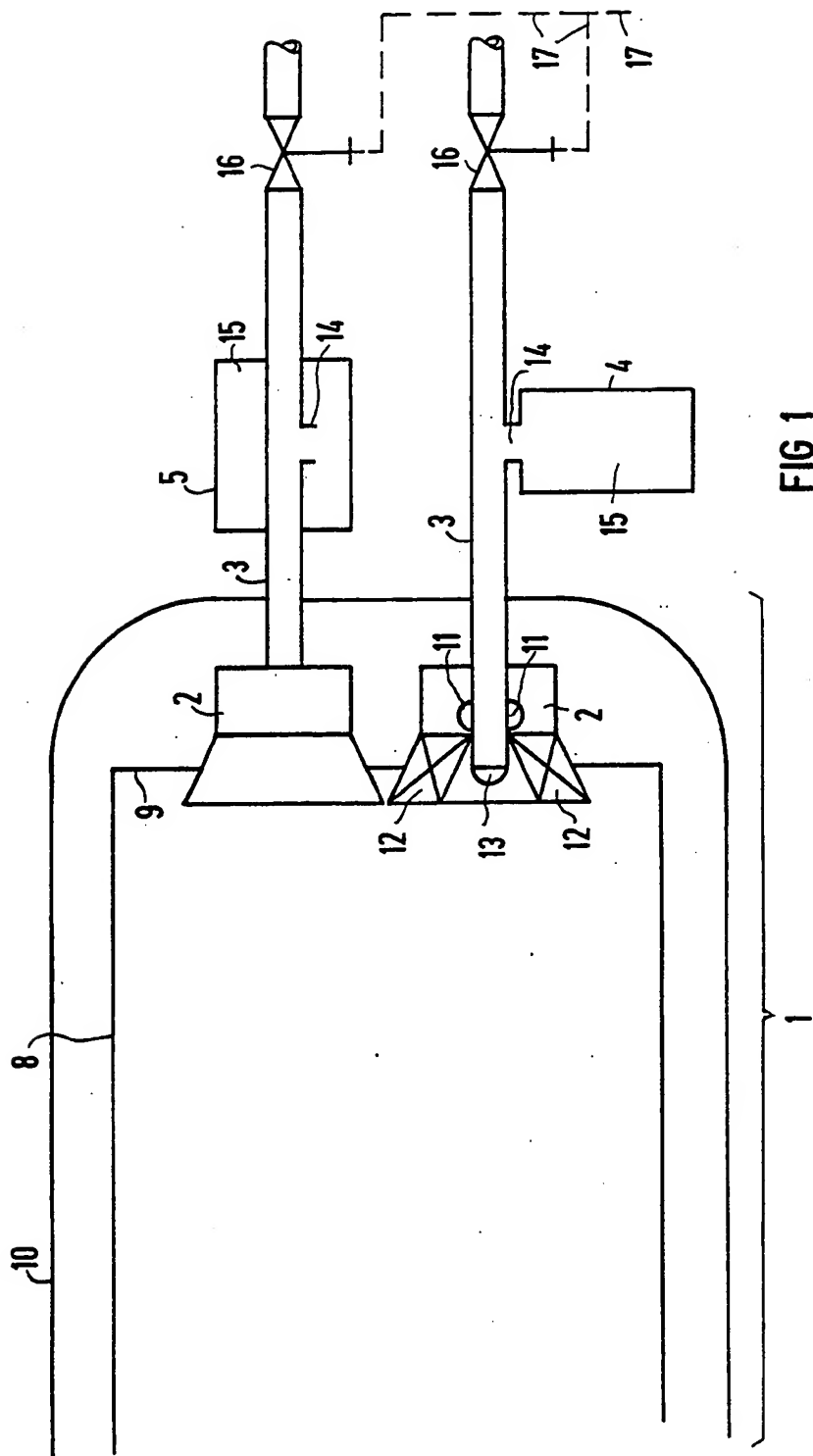


FIG 1

2/3

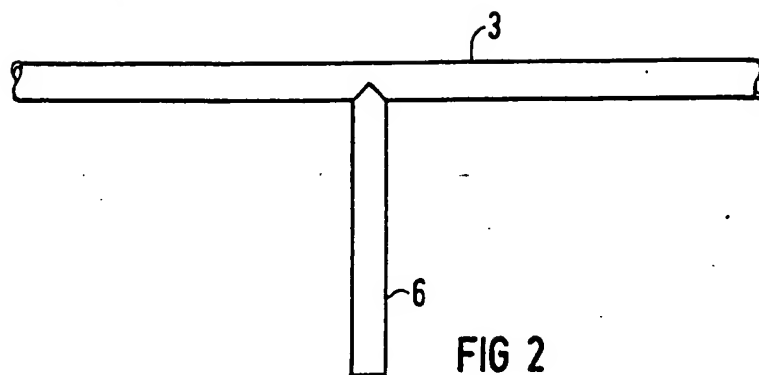


FIG 2

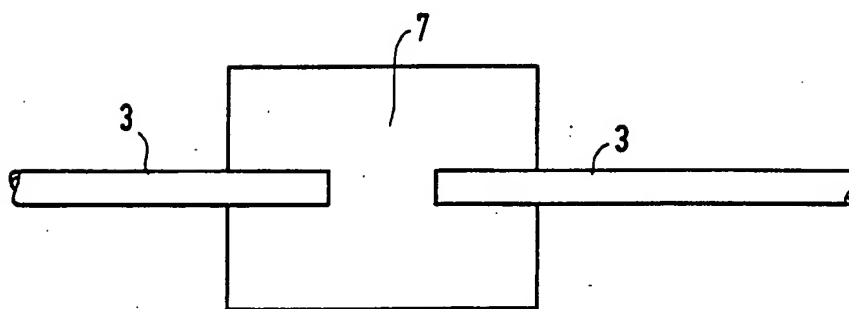


FIG 3

3/3

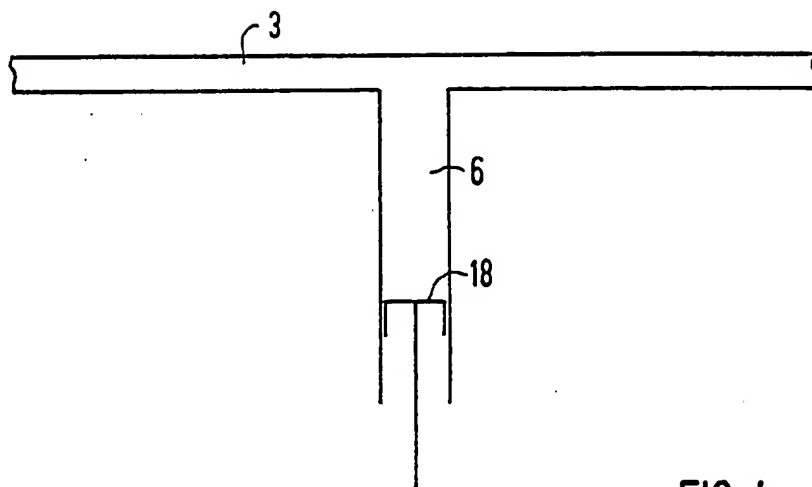


FIG 4

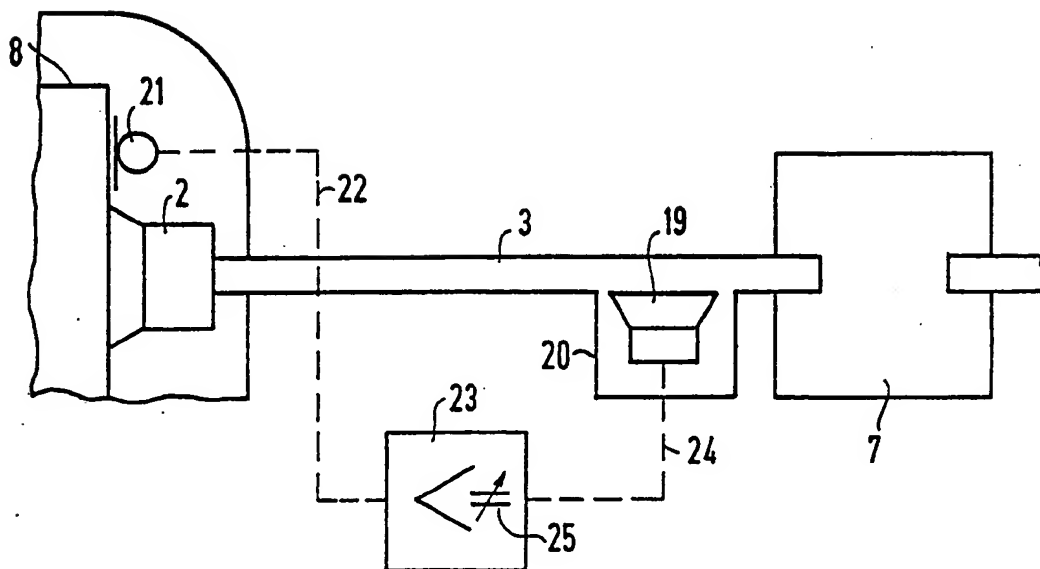


FIG 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/DE 92/00926

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. 5: F23M 13/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. 5: F23M; F02K; F02C; F23R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE, A, 3 439 903 (WILLIAMS) 9 May 1985 see page 14, paragraph 2 - page 18, paragraph 1 see page 20, paragraph 2 - page 23 see figures 1,3	1,2,8,9
Y	-----	3,5,6,7
Y	GWF GAS ERDGAS Vol. 112, No. 8, August 1971, MÜNCHEN pages 367 - 375 LORENZ 'Verbrennungsgeräusche' see page 373, left-hand column, paragraph 2 - page 375, line 5 ----- -/--	3,5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08 February 1993 (08.02.93)

Date of mailing of the international search report
17 February 1993 (17.02.93)

Name and mailing address of the ISA/
European Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE 92/00926

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP, A, 0 119 634 (NIPPONDENSO) 26 September 1984 see page 1 see page 5, paragraph 5 - page 7, paragraph 1 see figures 1,2	6
Y	DE, B, 2 350 338 (KOPPERS) 3 April 1975 see column 1, line 34 - line 42 see column 4, line 6 - line 11 see figure 2	7

**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.**

DE 9200926
SA 66586

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report.
The members are as contained in the European Patent Office EDP file on
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

08/02/93

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE-A-3439903	09-05-85	FR-A, B 2554170	03-05-85
		GB-A, B 2165964	23-04-86
		JP-A- 60111027	17-06-85
		US-A- 4557106	10-12-85

EP-A-0119634	26-09-84	JP-A- 59173513	01-10-84
		JP-A- 59215913	05-12-84
		DE-A- 3473325	15-09-88
		US-A- 4546733	15-10-85

DE-B-2350338	03-04-75	BE-A- 820136	20-03-75
		FR-A, B 2246805	02-05-75
		GB-A- 1442232	14-07-76
		JP-C- 1197764	21-03-84
		JP-A- 50064825	02-06-75
		JP-B- 58030491	29-06-83
		NL-A- 7412896	08-04-75
		SE-B- 406475	12-02-79
		SE-A- 7411606	07-04-75
		US-A- 3947226	30-03-76

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 92/00926

I. KLASSEFIZIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben)⁶

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

Int.K1. 5 F23M13/00

II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETERecherchierte Mindestprüfstoff⁷

Klassifikationssystem

Klassifikationssymbole

Int.K1. 5

F23M ; F02K ; F02C ; F23R

Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen⁸**III. EINSCHLAGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN⁹**

Art. ⁹	Kennzeichnung der Veröffentlichung ¹¹ , soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile ¹²	Betr. Anspruch Nr. ¹³
X	DE,A,3 439 903 (WILLIAMS) 9. Mai 1985 siehe Seite 14, Absatz 2 - Seite 18, Absatz 1 siehe Seite 20, Absatz 2 - Seite 23 siehe Abbildungen 1,3	1,2,8,9
Y	---	3,5,6,7
Y	GWF GAS ERDGAS Bd. 112, Nr. 8, August 1971, MÜNCHEN Seiten 367 - 375 LORENZ 'Verbrennungsgeräusche' siehe Seite 373, linke Spalte, Absatz 2 - Seite 375, Zeile 5 ---	3,5
	---	---

⁹ Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen¹⁰:^{"A"} Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist^{"E"} älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist^{"L"} Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)^{"O"} Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht^{"P"} Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist^{"T"} Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist^{"X"} Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden^{"Y"} Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist^{"&"} Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist**IV. BESCHEINIGUNG**

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

08.FEBRUAR 1993

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

17-02-1993

Internationale Recherchenbehörde

EUROPAISCHES PATENTAMT

Unterschrift des bevollmächtigten Bediensteten

LEITNER J.

III. EINSCHLAGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN (Fortsetzung von Blatt 2)		
Art °	Kennzeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP,A,0 119 634 (NIPPONDENSO) 26. September 1984 siehe Seite 1 siehe Seite 5, Absatz 5 - Seite 7, Absatz 1 siehe Abbildungen 1,2 ----	6
Y	DE,B,2 350 338 (KOPPERS) 3. April 1975 siehe Spalte 1, Zeile 34 - Zeile 42 siehe Spalte 4, Zeile 6 - Zeile 11 siehe Abbildung 2 -----	7

**ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR.**

DE 9200926
SA 66586

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

08/02/93

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE-A-3439903	09-05-85	FR-A, B 2554170	03-05-85
		GB-A, B 2165964	23-04-86
		JP-A- 60111027	17-06-85
		US-A- 4557106	10-12-85
EP-A-0119634	26-09-84	JP-A- 59173513	01-10-84
		JP-A- 59215913	05-12-84
		DE-A- 3473325	15-09-88
		US-A- 4546733	15-10-85
DE-B-2350338	03-04-75	BE-A- 820136	20-03-75
		FR-A, B 2246805	02-05-75
		GB-A- 1442232	14-07-76
		JP-C- 1197764	21-03-84
		JP-A- 50064825	02-06-75
		JP-B- 58030491	29-06-83
		NL-A- 7412896	08-04-75
		SE-B- 406475	12-02-79
		SE-A- 7411606	07-04-75
		US-A- 3947226	30-03-76

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.